

БЕЗОЧКОВЫЕ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЕ ДИСПЛЕИ НА ДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛЯРИЗАТОРАХ И ЗАТВОРАХ С ПОДВИЖНЫМИ ГРАНИЦАМИ МЕЖДУ ДВУМЯ ВЗАИМНО КОМПЛЕМЕНТАРНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ (АМПЛИТУДНОЕ ЗАТУХАНИЕ, ПОЛЯРИЗАЦИЯ, СПЕКТР)

Ежов В.А., ИОФРАН

Аннотация. Описано создание безочковых 3Д дисплеев как прямого наблюдения, так и проекционных (включая многоракурсные варианты) на основе существующих стереоскопических дисплеев с использованием в них (вместо очков) сепарирующих амплитудных, поляризационных либо спектральных фильтров с подвижными границами в апертуре. Данные фильтры должны располагаться не далее определенного расстояния Z_0 от наблюдателя (все расстояния менее Z_0 допустимы). Необходимость в поддержании расстояния Z_0 есть основное ограничение метода, которое преодолевается отслеживанием z-координаты наблюдателя и соответствующей подстройкой z-координаты фильтра.

1. ВВЕДЕНИЕ

В традиционных безочковых стереоскопических методах пары пространственно-разнесенных зон наблюдения (предназначенных для восприятия левого и правого ракурсов стереоизображения раздельно левым и правым глазами наблюдателя) реализуются за счет создания на экране периодически перемежающихся фрагментов левого и правого ракурсов и использования аналогичных периодических оптических сепарирующих фильтров, расположенных на заданном расстоянии от экрана. Такой подход, во-первых, ведет к снижению разрешения наблюдаемого изображения (как минимум в два раза - при двухракурсном отображении каждый ракурс производится только половиной площади экрана, а при n -ракурсном – только n -й частью площади), во-вторых, к невозможности напрямую (без переделки) использовать стандартные дисплеи из-за необходимости создавать жесткую конструкцию, обеспечивающую выполнение и поддержание точной юстировки взаимного положения экрана и сепарирующего фильтра. При этом, как правило, становится невозможным наблюдать обычные (моноскопические) изображения, поскольку выключение такого сепарирующего фильтра весьма проблематично.

2. АВТОСТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД НА ОСНОВЕ ПОДВИЖНОЙ ГРАНИЦЫ

Принцип движущейся границы в применении к безочковому стереоскопическому отображению предложен в [1,2].

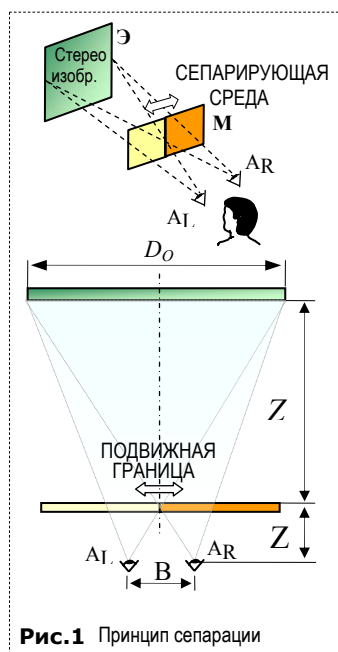


Рис.1 Принцип сепарации

2.1. Комплементарные оптические свойства двух примыкающих друг к другу сплошных областей апертуры фильтра

Для создания пары раздельных зон наблюдения экрана достаточно использовать сепарирующий фильтр с единственной границей между двумя сплошными областями апертуры (рис.1). Вся площадь экрана наблюдается левым глазом сквозь левую область, а правым глазом – сквозь правую область апертуры фильтра. Левый глаз при это находится в зоне наблюдения A_L , а правый – в зоне A_R . Если воспроизведению левого и правого ракурсов на экране Э отвечает взаимно комплементарная кодировка свойств светового потока изображения, то придание соответствующих комплементарных оптических свойств левой и правой областям фильтра обеспечивает раздельное наблюдение левого и правого ракурсов левым и правым глазами. На-

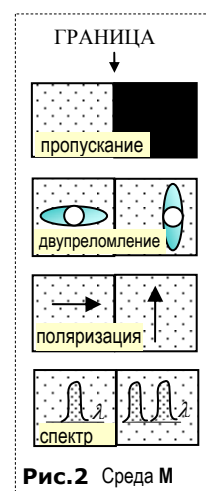


Рис.2 Среда М

пример, таковыми взаимно комплементарными (взаимно дополняющими) оптическими свойствами являются (рис.2) минимально (нулевое) и максимальное значения амплитудного пропускания, два значения оптической анизотропии, отвечающие нулевому и полувоновому фазовому сдвигу, два взаимно ортогональных состояния поляризации, две взаимно неперекрывающихся по частотам спектральные (цветовые) характеристики.

Условие (1) формирования двух отдельных зон наблюдения находится из геометрии хода

$$Z_B \leq \frac{BZ_0}{D_0} \quad (1)$$

крайних лучей светового потока изображения, где B – среднее расстояние между зрачками глаз (обычно 60-65 мм), Z_0 – расстояние между экраном и сепарирующей средой M , D_0 – размер экрана в горизонтальном направлении. Вертикальная граница между левой L и

правой R областями апертуры сепарирующей среды M может двигаться горизонтально для отслеживания реального положения наблюдателя и поддержания указанной на рис. 1 геометрии хода лучей.

Основное достоинство данного метода – способность преобразовывать большинство существующих стереоскопических дисплеев (предназначенных для очкового наблюдения) в безочковые (автостереоскопические) варианты практически без переделок собственно дисплеев при сохранении полного разрешения стереоизображения (полного разрешения экрана для каждого из левого и правого ракурсов) и стандартной полосы частот информационного сигнала.

Основной недостаток метода – необходимость поддержания расстояния Z_B не более чем величина BZ_0/D_0 (меньшие величины Z_B успешно «работают», позволяя уменьшить требуемые размеры среды M). Иными словами, в случае фиксированного z -положения среды M существует ограничение только на отдаление наблюдателя от среды M , но при приближении наблюдателя к среде M условия сепарации остаются справедливыми. Для многих случаев указанное ограничение не является очень существенным, например, для сидящего наблюдателя. Но в общем случае это ограничение можно преодолеть отслеживанием z -положения головы наблюдателя и соответствующим автоматическим отслеживанием z -перемещением сепарирующей среды M . Более того, введение слежения (которое, естественно, будет одновременно работать и в горизонтальном направлении, сдвигая подвижную границу при боковых смещениях головы наблюдателя) позволяет легко перейти к многоракурсному стереотображению с квазинепрерывным угловым спектром ракурсов (т.е. с очень высоким угловым разрешением ракурсов в отображаемой 3Д сцене) благодаря возможности очень малых горизонтальных сдвигов границы в среде M . В этом случае дополнительным достоинством является совместимость получаемого многоракурсного дисплея с стандартными каналами связи (стандартной компьютерной и телевизионной техникой), поскольку достаточно воспроизводить только одну текущую пару ракурсов в каждый момент времени, отвечающую реальному положению головы наблюдателя (другая пара ракурсов заменяет текущую только после обновления сигнала следящего устройства).

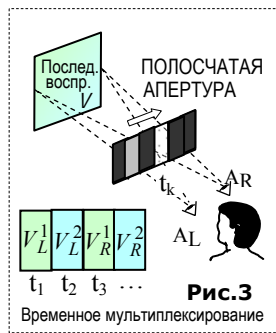
2.2. Сравнение с другими конкретными автостереоскопическими методами

Практически все известные альтернативные автостереоскопические дисплеи, в особенности многоракурсные, предназначенные для высокоразрешающего или широкоугольного отображения, также характеризуются схожими ограничениями, которые преодолеваются слежением за головой наблюдателя.

Кратко рассмотрим различные методы автостереоскопического отображения, классифицированные в соответствии с применяемых в них стереоскопическими форматами (форматами представления ракурсов на экране) с использованием универсальной терминологии, рассмотренной в [3].

Формат «матричная стереопара – МС». Используется практически во всех автостереоскопических дисплеях, в которых применяются лентичулярные линзы или амплитудные параллаксные барьеры. Вертикально-ориентированные (параллельно столбцам изображения на экране) лентичулярные линзы [4] или параллаксные барьеры дают ограничения на горизонтальное положение наблюдателя. Эти ограничения преодолеваются введением слежения за положением головы наблюдателя и соответствующим сдвигом раstra изображения или параллаксного барьера. Все такие дисплеи имеют сниженное (вдвое или более) разрешение для каждого ракурса. Автостереоскопические дисплеи с наклонным расположением лентичулярных линз [5] или па-

раллаксных барьеров [6] характеризуются многоракурсными возможностями без использования слежения за положением головы, но здесь имеет место сильное снижение разрешение для каждого ракурса (тем большее, чем большая свобода для перемещения наблюдателя предусматривается, поскольку свобода больше при увеличении числа одновременно формируемых ракурсов, и разрешение каждого из них равно полному разрешению экрана, деленному на число таких ракурсов).



Также предложена [7] многоракурсная система с временным мультиплексированием примыкающих друг к другу зон наблюдения (рис. 3), в которой последовательно генерируется множество K пар левых L_K и правых R_K ракурсов (в моменты времени t_1, t_2, \dots воспроизводятся соответственно пары ракурсов $V_L^1 + V_R^1$ и $V_L^2 + V_R^2 \dots$). Основной недостаток – очень высокая требуемая полоса частот электронного сигнала, равная сумме частотных полос всех K пар ракурсов (несовместимость с стандартными источниками

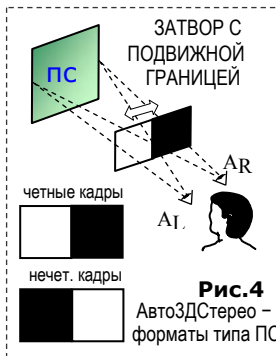
и линиями связи).

Формат «стереопара с взаимной фильтрацией – ВФС». Основан на использовании, например, двух 2Д дисплеев, разнесенных вдоль оси z [8], второй из которых является просветным и адаптивным электронным фильтром относительно первого дисплея. Такое решение дает меньшее разрешение для каждого ракурса, чем позволяет исходное разрешение дисплея, поскольку используемый алгоритм фильтрации (схож с принципом работы нейронной сети) имеет остаточный член ошибки. К тому же имеет место существенная потеря интенсивности света из-за применения двух последовательно расположенных модуляторов интенсивности света.

3. ВАРИАНТЫ АВТОСТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО МЕТОДА НА ОСНОВЕ ПОДВИЖНОЙ ГРАНИЦЫ

3.1. Затворы с границей между переключаемыми значениями амплитудного затухания

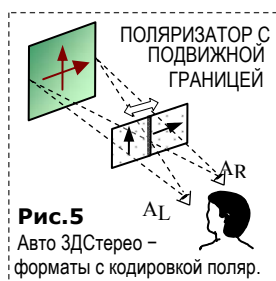
Применимы для преобразования в автостереоскопические варианты для всех дисплеев, в которых в том или ином виде используется формат «попеременная стереопара – ПС» представления ракурсов (рис. 4), т.е. попеременное предъявление левого и правого ракурсов на экране при синхронном изменении амплитудного пропускания в двух областях затвора (левая область которого «просветляется» во время появления левого ракурса при «закрытой» правой области и наоборот). Все стереоскопические форматы с временным чередованием ракурсов обычно конвертируются (перед предъявлением наблюдателю) в ПС-подобный формат. Поэтому все такие стереодисплеи могут быть преобразованы в автостереоскопические с сохранением



всех достоинств вышеупомянутых форматов, а именно, совместимости со всеми компьютерами для любых типов видеокарт – для формата «вертикальная стереопара – ВС», параллельная передача всех строк в изображении каждого из ракурсов с сохранением совместимости с стандартными информационными видеоканалами – для формата «горизонтальная стереопара – ГС», совместимость с стандартными телевизионными системами PAL, NTSC, SECAM – для формата «чересстрочная попеременная стереопара – ЧПС», возможности работать со стереоизображением в локальной области экрана при сохранении моноизображения в остальной его области – для формата «чересстрочная совместная стереопара – ЧСС»).

Поэтому все такие стереодисплеи могут быть преобразованы в автостереоскопические с сохранением

3.2. Динамические поляризаторы с взаимно ортогональными состояниями поляризации в двух областях апертуры



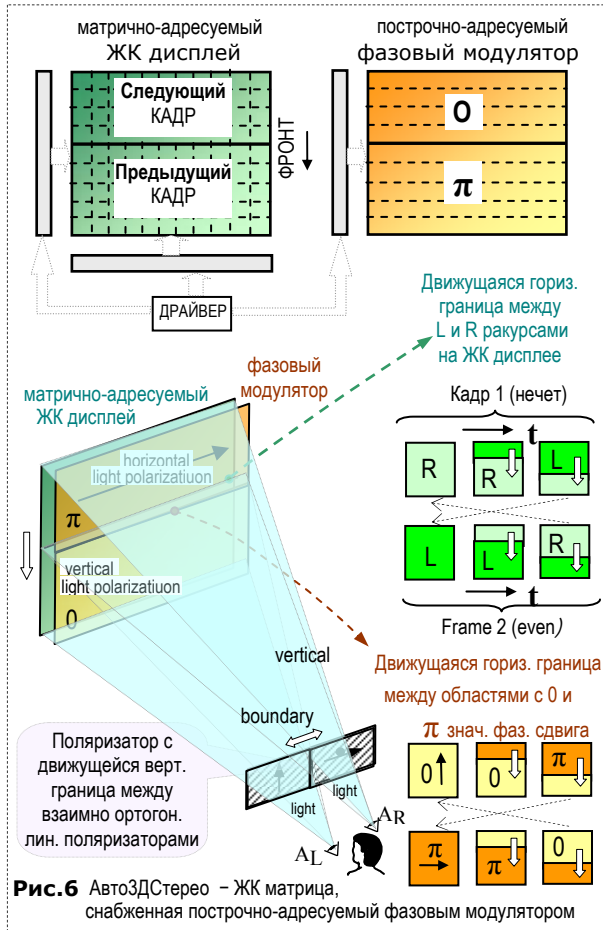
Применимы для преобразования в автостереоскопические (рис.5) всех дисплеев, в которых используются стереоскопические форматы «стереопара с взаимным наложением - ВНС», «объединенная стереопара – ОС», «стереопара с движущейся горизонтальной границей - ДГС».

Формат «стереопара с взаимным наложением – ВНС». Используется в проекционных стереосистемах, в которых световые потоки левого и правого ракурсов складываются на экране без интерференции друг с дру-

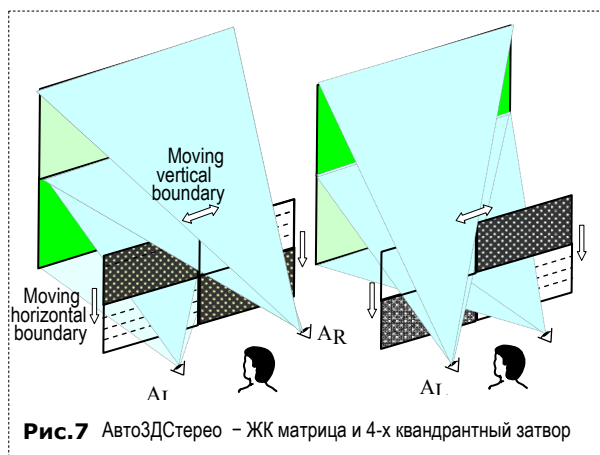
гом благодаря взаимно ортогональным состояниям поляризации этих световых потоков.

Формат «объединенная стереопара – ОС». Используется в инновационных стереоскопических дисплеях прямого наблюдения, основанных на применении двух примыкающих друг к другу ЖК матриц, одна из которых является модулятором интенсивности света, другая - модулятором состояния поляризации. Впервые такой формат в применении к ЖК матрицам на нематической ЖК твист-структуре предложен в [9], а общий метод описан в [10, 11].

Формат «стереопара с движущейся горизонтальной границей - ДГС». Данный формат, впервые предложенный в [12] для двухлучевых ЭЛТ-дисплеев и развитый в [1,2] для ЖК дисплеев, в комбинации с рассматриваемым динамическим поляризатором, характеризующимся подвижной вертикальной границей, позволяет реализовать автостереоскопический дисплей (принцип работы которого иллюстрируется рис.6), если ЖК дисплей характеризуется в каждом своем элементе (пикселе) временем релаксации меньшим, чем время формирования кадра. В ЖК дисплеях применяется принцип «выборка-удержание» («sample-and-hold») для строк изображения, при котором текущая строка предыдущего изображения высвечивается до тех пор, пока не будет замещена соответствующей строкой следующего изображения (рис. 6, сверху). Фронт такого замещения можно трактовать как горизонтальную движущуюся вертикально границу между информацией в предыдущем кадре (в котором воспроизводится, например, левый L ракурс), и информацией в последующем кадре (в котором воспроизводится правый R ракурс). Если использовать внешний фазовый модулятор для построчного кодирования (рис. 6, справа сверху) с движением его границы между двумя состояниями поляризации синхронно с указанной границей раздела двух ракурсов на ЖК матрице, то линейно поляризованный свет, выходящий из ЖК матрицы, будет иметь взаимно ортогональные состояния поляризации после прохождения фазового модулятора между двумя его областями сверху и снизу движущейся границы (рис. 6, справа). В результате динамический поляризатор с подвижной вертикальной границей, расположенный на соответствующем расстоянии, определяемом формулой (1), от головы наблюдателя, будет сепарировать ортогонально кодированные по состоянию поляризации левый L и правый R ракурсы (рис. 6, слева).



В результате динамический поляризатор с подвижной вертикальной границей, расположенный на соответствующем расстоянии, определяемом формулой (1), от головы наблюдателя, будет сепарировать ортогонально кодированные по состоянию поляризации левый L и правый R ракурсы (рис. 6, слева).

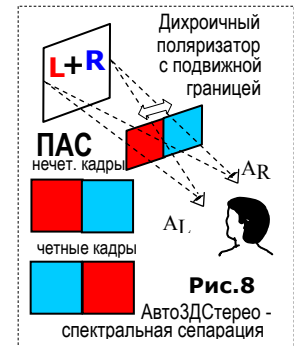


3.3. Затвор с двумя взаимно ортогональными границами

Дальнейшим развитием вышеизложенного варианта является использование одиночного затвора с комбинацией горизонтальной и вертикальной подвижных границ (рис. 7), которые образуют 4 квадранта с динамически меняющимися границами. В таком варианте нет необходимости использовать широкоапертурный фазовый модулятор, но необходимо иметь согласованные (в среднем по вертикальному углу) локальные времена релаксации в ЖК матрице и затворе.

3.4. Динамические дихроичные поляризаторы с движущейся границей

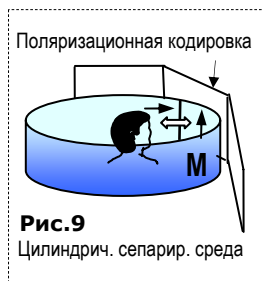
Применимы для создания автостереоскопических дисплеев в случаях применения форматов «анаглифическая стереопара – АС», «попеременная анаглифическая стереопара – ПАС» (рис. 8). На практике такие системы не дают такого высокого качества стереоизображения, как формат «попеременная стереопара», что обусловлено в случае формата «АС» недостаточно корректной цветопередачей, а в случае формата «ПАС» - недостаточно высоким контрастом коммутируемых цветовых (анаглифических) фильтров. Однако для цифрового отображения с использованием ЖК дисплеев формат «АС» может дать удовлетворительное качество стереоизображения при оптимизации цветовых характеристик дисплея и фильтров. Достоинство – совместимость практически со всеми цветными дисплеями и дешевизна (красно/зелено-синий и красно-зеленый/желтый варианты анаглифических фильтров дают наиболее качественное изображение).



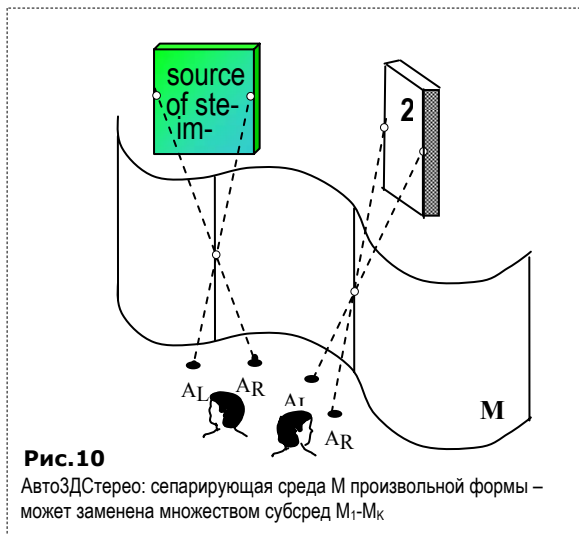
Формат «ПАС» (принцип предложен в [13]) оптимален для подавления мерцаний стереоизображения при низкой (50-60 Гц) кадровой частоте в том случае, когда нельзя подавить мерцания повышением кадровой частоты (в стандартных ТВ системах PAL, NTSC, SECAM). Характеризуется двумя недостатками: первый – появление цветовых артефактов (расслоение цветов) на быстро движущихся объектах изображения, второй – недостаточно высокий контраст существующих дихроичных фильтров (около 20-30:1) не позволяет получить высококачественную сепарацию ракурсов.

3.5. Панорамное автостереоскопическое отображение с подвижной границей

При использовании криволинейной поверхности сепарирующей среды М с вертикальной подвижной границей возможна реализация панорамных стереоскопических систем за счет состыковки проекционных изображений на цилиндрическом или призматическом экране (рис. 9). Простейший метод реализации сепарирующей среды М в форме цилиндрической поверхности состоит в использовании листа поляризатора, свернутого в цилиндр, при этом область с комплементарным (ортогональным) состоянием поляризации образуется за счет использования листа фазовой пластинки (с задержкой величиной π), которая наклеивается на полуповерхность цилиндра-поляризатора. Край фазовой пластинки, параллельный образующей цилиндра, образует



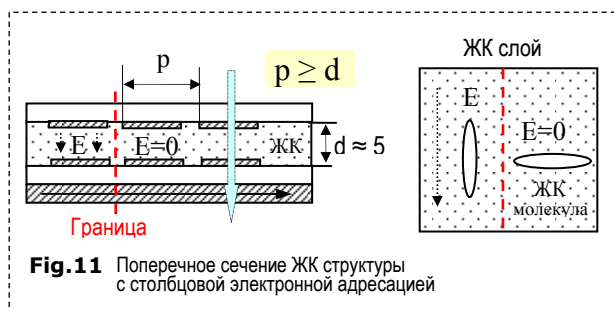
границу между двумя взаимно ортогональными состояниями поляризации. Если поворачивать вертикально расположенный своей осью цилиндр синхронно с угловым положением головы наблюдателя, то реализуется механически движущаяся граница.



Электронный вариант цилиндрической сепарирующей среды М (или части цилиндрической поверхности) может быть выполнен с использованием ЖК слоя, расположенного между двумя гибкими подложками (например, поликарбонатными), снабженными вертикальными прозрачными полосчатыми адресными электродами. Разработка гибких подложек является одним из магистральных путей развития современной дисплейной техники, и такие подложки очень перспективны для разработки сепарирующих фильтров с движущимися границами (особенно их многослойных вариантов для целей оптической компенсации, обеспечивающей увеличения качества сепарации и расширения углов обзора).

Можно представить гипотетическую автостереоскопическую систему с сепарирующей средой произвольной формы (конической и т.д.) - рис. 10.

3.6. Практические ЖК затворы и динамические поляризаторы с подвижной границей



Созданы прототипы затворов и поляризаторов на основе ЖК пи-ячеек и суперзакрученных нематических ЖК структур с хиральной добавкой (рис. 11). Время отклика на повышение электрического поля E около 30-100 мкс и время релаксации (при снятии E) около 2-4 мс. Контраст (степень сепарации) около 70-100:1 в случае суперзакрученных структур и 40-50:1 в случае динамических затворов на пи-ячейках). В на-

стоящее время проводится работа по оптической оптимизации (разработке методов оптической компенсации) данных затворов и динамических поляризаторов с целью существенного повышения качества сепарации.

Ниже представлены фотографии прототипов ЖК затворов и поляризаторов.



4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ежов В.А., Студенцов С.А. *Положительное решение ФИПС по заявке № 2006103457 на патент РФ*, дата приоритета 07.02.2006.
- [2] Ежов В.А., Студенцов С.А. *Положительное решение ФИПС по заявке № 2006103460 на патент РФ*, дата приоритета 07.02.2006.
- [3] Ежов В.А. *Трехмерные дисплеи: фундаментальная физическая классификация...*, данный сборник.
- [4] H. Ives, *US Patent 1916320*, filed 12.08.1931.
- [5] D. Winnek, *US Patent 3409351*, filed 07.02.1966.
- [6] F. Doerfel, A. Grasnack, A. Holz, et al., *US Patent 7046271*, filed 24.01.2001.
- [7] J. Son, V. Smirnov, V. Novoselsky, *US Patent 6178043*, filed 23.11.1999.
- [8] A. Putilin, *US Patent 6717728*, filed 15.10.2001.
- [9] J. Gaudreau, *US Patent 5629798*, filed 07.03.1997.
- [10] Ежов В.А., *Положительное решение ФИПС по заявке № 2006107457 на патент РФ*, дата приоритета 13.03.2006.
- [11] Ежов В.А. *Новый метод стереоскопического отображения, разработанный решением уравнения поляризации...*, данный сборник.
- [12] Ежов В.А., Зарецкий А.А., Семочкин П.Н. - *Патентная заявка PCT/SU90/00240*, дата приоритета 06.11.90.
- [13] G. Street, *US Patent 4641178*, filed 07.08.84.